



BACHELORARBEIT

Herr
Robin Kuzmowicz

**Ein Tutorial für Anwender von
RAVENNA- / AES67-
Netzwerken**

2015

BACHELORARBEIT

Ein Tutorial für Anwender von RAVENNA- / AES67-Netzwerken

Autor:
Herr Robin Kuzmowicz

Studiengang:
Medientechnik (B. Eng.)

Seminargruppe:
MT11wH-B

Erstprüfer:
Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. (FH) Jan Ehrlich

Einreichung:
Mittweida, 23.01.2015

BACHELOR THESIS

A tutorial for users of RAVENNA- / AES67 networks

author:

Mr. Robin Kuzmowicz

course of studies:

media technology (B. Eng.)

seminar group:

MT11wH-B

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Michael Hösel

second examiner:

Dipl.-Ing. (FH) Jan Ehrlich

submission:

Mittweida, 23.01.2015

Bibliografische Angaben

Nachname, Vorname: Kuzmowicz, Robin

Thema der Bachelorarbeit: Ein Tutorial für Anwender von RAVENNA- / AES67-Netzwerken

Topic of thesis: A tutorial for users of RAVENNA- / AES67 networks

36 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2015

Abstract

Intention dieser Arbeit ist es, die Inhalte für ein Tutorial für potenzielle Anwender von RAVENNA-Netzwerken zu erstellen. RAVENNA ist ein Format für die Echtzeitübertragung von Audiodaten über IP-Netzwerke. Da die netzwerkbasierte Audioübertragung für viele Anwender noch neu ist, sollen in diesem Tutorial Informationen zur Funktion und dem Hintergrund dieser Technologien vermittelt werden. Auch sollen in dem Tutorial die Vorteile netzwerkbasierter Lösungen vorgestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung	1
2 Das Unternehmen DirectOut GmbH	3
3 Ein Tutorial für Anwender von RAVENNA-Netzwerken	4
3.1 Notwendigkeit.....	4
3.2 Ziele des Tutorials.....	5
3.2.1 Zielgruppe	5
3.2.2 Handhabung netzwerkbasierter Audioformate	6
4 Konkreter wissenschaftlich ausgearbeiteter Inhalt des Tutorials	7
4.1 Exkurs - Digitalisierung von Audiosignalen	7
4.1.1 Sampling.....	7
4.1.2 Quantisierung und Codierung.....	9
4.2 Aktueller Entwicklungsstand	9
4.3 Audio over IP.....	12
4.3.1 Das OSI Referenzmodell	12
4.3.2 Audioübertragungsformate im OSI Referenzmodell	14
4.3.3 Vorteile von Audio over IP	17
4.4 RAVENNA.....	18
4.4.1 Entstehung	18
4.4.2 Technologie.....	18
4.4.3 Anwendungsbereiche für RAVENNA	24
4.5 AES67	24
4.5.1 Die AES	24
4.5.2 Standardisierung von Audio over IP	25
5 Umsetzung des Tutorials	29
5.1 Form des Tutorials	29
5.1.1 Anforderungen.....	29
5.1.2 Eine interaktive Webanwendung	30
5.2 Aufbau des Tutorials	30
5.2.1 Vernetzte Struktur	30

5.2.2	Online-Kurs	31
5.2.3	Häufig gestellte Fragen (FAQ)	31
5.2.4	Kontaktformular für weitere Fragen	33
5.2.5	Weiterführende Inhalte	33
6	Auswertung	35
	Literaturverzeichnis	IX
	Eigenständigkeitserklärung	XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sampling mit verschiedenen Sample Rates	7
Quelle: Henle, Hubert (2001): <i>Das Tonstudio Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Aufnahmetechnik</i> . 5., komplett überarbeitete Auflage, München, S. 73.	
Abbildung 2: Zustandekommen eines Aliasing-Fehlers	8
Quelle: Henle, Hubert (2001): <i>Das Tonstudio Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Aufnahmetechnik</i> . 5., komplett überarbeitete Auflage, München, S. 75.	
Abbildung 3: Signalführung in Multimode- und Singlemode-Lichtwellenleitern	11
Quelle: Oliver, Buddy (2012): <i>"Let There Be Light: How Fiber Optics Actually Works"</i> . URL: http://www.prosoundweb.com/images/uploads/FiberOpticsGraphic1.jpg [Stand 23.01.2015].	
Abbildung 4: Das ISO / OSI Referenzmodell	13
Quelle: <i>eigene Darstellung</i> , in Anlehnung an: Meinel, Christoph / Sack, Harald (2012): <i>Internetworking. Technische Grundlagen und Anwendungen</i> . Berlin Heidelberg, S. 42.	
Abbildung 5: RAVENNA Redundanz-Konzept	20
Quelle: Hildebrand, Andreas (2010): <i>Networked Audio. Aktuelle Entwicklungen & Technologische Perspektiven für den Broadcast-Markt</i> . Manuskript von der 26. Tonmeistertagung in Leipzig, S. 16.	
Abbildung 6: Schematischer Aufbau einer RAVENNA-Node und Aussendevorgang von Audiodaten ins Netzwerk	21
Quelle: <i>eigene Darstellung</i> , in Anlehnung an: ALC NetworX (2014): <i>RAVENNA. AES67 now!</i> . München, S. 3.	
Abbildung 7: Schematischer Aufbau einer RAVENNA-Node und Empfangsvorgang von Audiodaten aus dem Netzwerk	21
Quelle: <i>eigene Darstellung</i> , in Anlehnung an: ALC NetworX (2014): <i>RAVENNA. AES67 now!</i> . München, S. 3.	

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bit-Aufteilung eines MADI-Subframes.....	10
Quelle: <i>eigene Darstellung</i> , in Anlehnung an: Görne, Thomas (2011): <i>Tontechnik</i> . 3. Auflage, München, S. 222.	
Tabelle 2: Häufig gestellte Fragen (FAQ)	33
Quelle: <i>eigene Darstellung</i> .	

1 Einleitung

Netzwerkbasierende Technologien zur Audioübertragung finden vermehrt Einzug in Audioequipment und Systemlösungen. Sie haben meist viele Vorteile gegenüber herkömmlichen bewährten Übertragungsverfahren, welche bei vielen Anwendern noch immer sehr beliebt sind. Gründe für die Wahl von herkömmlichen Formaten sind der ausgereifte Entwicklungsstand und deren Standardisierungen sowie die vielen Erfahrungen, die Audiotechniker bisher damit sammeln konnten. Als die Digitaltechnik in den Audibereich Einzug erhielt, war eine große Umstellung der Denkweise von Anwendern und der Anwendung von Geräten und Systemen notwendig. Die Wandlung und Übertragung von Audiosignalen in digitale(n) Formate(n) machten den früheren analogen Weg ungreifbarer und abstrakt. Heute hat sich die digitale Audiotechnik in den meisten Bereichen bewährt. Mit netzwerkbasierenden Formaten wird diese Abstraktion auf die nächsthöhere Stufe gestellt. Auch mit dieser Technologie gehen eine neue Denkweise, eine neue Arbeitsweise aber auch neue Möglichkeiten und Chancen hervor. Da Anwender bisher gut mit den älteren Formaten zurechtgekommen sind und die Möglichkeiten dieser Formate kennen und für sich nutzen, gibt es auf den ersten Blick keine Motivationsgründe, bestehende Technik zu ersetzen. Besteht doch die Motivation, auf neue netzwerkbasierende Übertragung umzustellen, steht dem Anwender eine Vielzahl von Formaten zur Verfügung. Oft sind wichtige Unterscheidungsmerkmale von verschiedenen neuen netzwerkbasierenden Lösungen auf den ersten Blick unbekannt, da Hersteller aufgrund des jungen Entwicklungsstandes die möglichen Unzulänglichkeiten ihrer Technologie nicht preisgeben möchten. Kaufentscheidungen fallen dann oftmals auf sehr herstellergebundene (proprietäre) Lösungen, bei denen eine große Einschränkung an verfügbarem Equipment besteht. Gesamtlösungen können sehr kostspielig werden, da die Auswahl an verfügbarem Equipment (vor allem Netzwerktechnik) begrenzt ist. Außerdem wird durch die herstellergebundene Equipment-Auswahl der Funktionsumfang von Gesamtlösungen eingeschränkt.

Mit Audio over IP setzen Entwickler auf bewährte Technik aus dem IT-Bereich. Damit stehen dem Anwender alle Möglichkeiten offen, die beim Aufbau eines IP-Netzwerkes bestehen. Doch auch hier werden von verschiedenen Herstellern proprietäre Lösungen angeboten, die zwar bekannte und bewährte Protokolle verwenden, deren Kerntechnologie aber dennoch eine „Black Box“ ist. Gerätehersteller, die diese Technologien implementieren möchten, müssen in den meisten Fällen Lizenzgebühren für die Offenlegung der Technologie und die Implementierung in die Geräte bezahlen (vgl. Hildebrand, 2010: 6). Proprietäre Formate sind oft patentrechtlich geschützt, sodass ein Bestehen von sehr ähnlichen Technologien u.U. kritisch ist. Der Schutz durch ein Patent ist gültig, obwohl i.d.R. bestehende bereits standardisierte Protokolle

verwendet werden. Grund dafür ist die u.a. die patentrechtliche Gesetzeslage in verschiedenen Staaten. Dieser Umstand machte die Interoperabilität verschiedener Formate nicht möglich.

Ein Unternehmen, das einen anderen Weg eingeschlagen hat, ist das Unternehmen ALC NetworX. Sie bieten mit dem Audio over IP-Format RAVENNA (Real-time Audio Video Enhanced Next-generation Network Architecture) eine Lösung mit einer offenen Technologieplattform an. Hersteller von Audioequipment müssen keine Lizenzgebühren an ALC NetworX entrichten. Dem offenen Partnerschaftsmodell gehören mittlerweile schon zahlreiche namhafte Hersteller von Audioequipment an. Durch die aktive Beteiligung an der AES Task Group X192, die für die Standardisierung von Audio over IP zuständig war, unterstützt RAVENNA bereits alle Standards, die in AES67 (AES Standard on High-performance Streaming Audio-over-IP Interoperability) festgelegt wurden (vgl. Hildebrand, 2010: 17). Dieser Standard hat den Zweck, Audio over IP-Formate miteinander kompatibel zu machen, sodass die Lizenzpolitik und die Herstellergebundenheit einzelner Formate gelockert werden.

Diese Arbeit soll dazu dienen ein Tutorial für Anwender von RAVENNA- bzw. AES67-Netzwerken zu erstellen. Es soll zum einen Wissen über bestehende Lösungen und deren unterschiedliche Eigenschaften vermitteln, zum anderen die Unterschiede und Möglichkeiten von netzwerkbasierten zu herkömmlichen Formaten vermitteln. Der Anwender soll Kenntnis darüber erlangen, wie diese Netzwerke zu behandeln sind und was sie grundlegend von herkömmlichen Formaten unterscheidet. Durch einen permanenten Aktualisierungsprozess sollen Anwender immer über den aktuellen Stand der Entwicklungen von RAVENNA und AES67 informiert werden. Das Konzept für das Tutorial wird für das Unternehmen DirectOut GmbH erstellt, welches bereits RAVENNA-Partner ist und zukünftig vermehrt mit RAVENNA arbeiten wird.

2 Das Unternehmen DirectOut GmbH

Der Autor verfasst diese Arbeit in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen DirectOut GmbH. Die DirectOut GmbH hat sich auf die Herstellung von professionellem Audio- und Übertragungsequipment spezialisiert. Die Gründung des Unternehmens geschah im Jahr 2008 in Mittweida. Ziel des Unternehmens ist es vor allem, durch deren Produkte verschiedene digitale Audioformate miteinander kompatibel zu machen und Nischen zu bedienen (vgl. DirectOut GmbH, 2014a). Daher besteht ein großer Teil der Produktpalette aus Formatwandlern. Die Produkte werden unter der Marke DirectOut Technologies® vertrieben.

Die DirectOut GmbH ist seit 2010 RAVENNA-Partner. Da das Unternehmen ein großes Potential in diesem Audioübertragungsformat sieht, werden zukünftig vermehrt Produkte mit RAVENNA-Implementierung auf den Markt gebracht. Bisherige Produkte sind die bereits verfügbare PRODUCER.COM und das MONTONE.42. Ersteres ist ein flexibel einsetzbares MADI-Produkt, das über ein optionales RAVENNA-Modul eine Brücke zur Audio over IP-Welt bildet. Die PRODUCER.COM ist bereits am Markt verfügbar. Das MONTONE.42 ist ein RAVENNA-to-MADI-Converter. Dieses Produkt ist noch nicht am Markt erhältlich (vgl. DirectOut GmbH, 2014b).

Die DirectOut GmbH arbeitet mit der IMM-Gruppe in Mittweida zusammen. Beim IMM-Partner IMM prounique GmbH absolvierte der Verfasser ein Praktikum. Da die DirectOut GmbH aktiv an der Entwicklung und Förderung von RAVENNA beteiligt ist, soll diese Arbeit einen Grundstein für das Unternehmen bilden, Audio over IP-Lösungen kundenorientiert potentiellen Anwendern nahe zu bringen.

3 Ein Tutorial für Anwender von RAVENNA-Netzwerken

3.1 Notwendigkeit

Die Vielfalt digitaler Audioübertragungsformate ist so groß, dass den Anwendern ein breites Spektrum an Möglichkeiten eröffnet wird. Bei der Wahl eines Übertragungsformates sollten Anwender besonders folgende Aspekte berücksichtigen:

- die Eigenschaften, die es für den entsprechenden Einsatzbereich geeignet macht
- die Kosten für die Anschaffung und Installation von Systemen
- die Kompatibilität bzw. Wandelbarkeit mit / zu anderen Übertragungsformaten
- die entsprechende Auswahl an Equipment am Markt.

Lange Zeit war MADI (Multi Channel Audio Digital Interface) der professionelle Standard im Bereich der digitalen Audioübertragung. Somit hat sich dieses Format bei den Anwendern etabliert. MADI-Anwender wissen um die Möglichkeiten und Vorteile dieses Formates und nutzen diese gezielt aus. Für viele Anwender besteht daher auf den ersten Blick kein Grund, eine Umrüstung auf andere Formate in Erwägung zu ziehen. Die Beweggründe, auf neuere Technologien umzusteigen, werden erst durch Aufzeigen der Vorteile und Möglichkeiten dieser neuen Lösungen erkennbar. Der Audio over IP-Bereich erfährt momentan eine große Entwicklung, vor allem in der Herstellervielfalt und dem Standardisierungsprozess. Außerdem gibt es nur wenige Eigenschaften von Audio over IP-Formaten, die sie mit herkömmlichen Formaten, wie MADI, überhaupt vergleichbar machen. Für Anwender ist es daher umso schwieriger, Vorteile aus den neuartigen Formaten zu entnehmen.

Das Format RAVENNA ist eines der neusten Formate im Bereich der digitalen Audio- und Video-Übertragung. Auch wenn alle Audio over IP-Formate annähernd gleiche Eigenschaften aufweisen, hat RAVENNA gewisse Vorteile gegenüber anderen Formaten. Des Weiteren sollten Anwender den momentanen Entwicklungsstand kennenlernen, um Chancen für die eigenen Anwendungsbereiche kennenzulernen.

In Ausbildungen im tontechnischen Bereich wird oftmals wenig Hintergrundwissen zu einzelnen Übertragungsformaten vermittelt. Es werden hauptsächlich technische Aspekte behandelt, jedoch keine Informationen über die Institutionen, die Formate entwi-

ckeln oder deren mögliche Zukunft und Entwicklung. Auch wird meist nur Wissen über bereits am Markt bestehende und etablierte Technologie vermittelt, sodass netzwerkbasierte Übertragungsformate bisher sehr wenig in Ausbildungseinrichtungen behandelt werden.

3.2 Ziele des Tutorials

3.2.1 Zielgruppe

Um eine Aussage über die Zielgruppe des Tutorials machen zu können, ist zunächst die Kenntnis der Anwendungsbereiche von RAVENNA wichtig. Bei der Entwicklung von RAVENNA lag der Fokus im Besonderen auf dem gesamten Rundfunkbereich (vgl. Hildebrand, 2014: 5). Das Format ist für die synchrone, echtzeitkritische Verteilung von Audio- und Videodaten vorgesehen. Bisher befinden sich jedoch noch keine Geräte auf dem Markt, die eine Videoübertragung über dieses Format für sich nutzen. Da einige Hersteller bereits Internet Protocol (IP)-basierte Audioformate entwickelt und erfolgreich am Markt platziert haben, ist der Konkurrenzdruck, RAVENNA als ausgereiftes Audioübertragungsformat zu etablieren, umso größer. Videoübertragung über IP-basierte Netzwerke ist hingegen weniger verbreitet. Des Weiteren ist das Unternehmen DirectOut GmbH nur auf den Audio-Bereich konzentriert, sodass eine Betrachtung der Videoübertragung weniger relevant ist. Der Fokus liegt in dieser Arbeit folglich auf der Audioübertragung über RAVENNA. In die Hauptzielgruppe lassen sich Funkhäuser, Übertragungswagen, sowie Fernseh- und Hörfunkstudios einordnen. Neben den Rundfunkanwendungen deckt RAVENNA aber auch die Bereiche Eventproduktion, Festinstallation oder Audioproduktion ab (vgl. Hildebrand, 2014: 5).

Die Hauptzielgruppe des Tutorials sind demnach vor allem Rundfunkanstalten. Weiterhin richtet es sich aber auch an Systemhäuser, Unternehmen für Veranstaltungstechnik, Theater, Opernhäuser, Stadthallen, Kirchen und Tonstudios. Da der professionelle Standard bisher das Format MADI war, richtet sich das Tutorial speziell an MADI-Umsteiger. Bei all dieser Personengruppen und Einrichtungen setzt der Verfasser grundlegende Kenntnisse im Bereich der digitalen Audiotechnik voraus, sodass die grundlegendsten Informationen ausschließlich in einem kurzen Exkurs erklärt werden sollen. Dieser Exkurs soll dazu dienen, den Anwendern das Basiswissen noch einmal ins Gedächtnis zu rufen und alle Anwender auf einen gleichen Wissensstand zu bringen. Auch ambitionierte Musiker können von dem Tutorial profitieren, wenn die Anschaffung eigener Digitaltechnik in Frage kommt. Vor allem im Bereich Personal Monitoring werden netzwerkbasierte Lösungen verwendet. Als Ratgeber für Equipment-Anschaffung kann das Tutorial daher ebenfalls eine Hilfe sein.

3.2.2 Handhabung netzwerkbasierter Audioformate

Das Tutorial hat in erster Linie die Aufgabe, potentiellen Anwendern die Eigenschaften und Vorteile von Audio over IP, insbesondere des Formates RAVENNA gegenüber herkömmlichen Formaten (vor allem MADI) wissenschaftlich zu erklären. Der Schwerpunkt liegt vor allem in der Beschreibung der Funktionsweise und des momentanen Entwicklungsstandes. Dabei soll speziell auch auf AES67 eingegangen und damit der Standardisierungsprozess erläutert werden. In diesem Themenfeld wird Basis- und Hintergrundwissen vermittelt, in dem die Organisation AES (Audio Engineering Society) kurz vorgestellt wird. Außerdem sollen die wichtigsten bereits existierenden netzwerkbasierenden Lösungen kurz vorgestellt und erklärt werden. Der Zielgruppe sollen Grundlagen der Signalwandlung und die Eigenschaften und Funktionsweise von MADI nochmals ins Gedächtnis gerufen werden, sodass Wissenslücken weitgehend geschlossen werden und Vergleiche zwischen verschiedenen Technologien möglich sind. Durch einen stetigen Aktualisierungsprozess sollen die Inhalte den momentanen Entwicklungsstand repräsentieren. Die Aktualisierungsmaßnahmen sollen durch fachkundige Personen umgesetzt werden. Da in der kommenden Zeit viele Entwicklungen zu erwarten sind, ist dies besonders wichtig, damit die Anwender jederzeit das Tutorial als sichere Informationsquelle aufsuchen können.

4 Konkreter wissenschaftlich ausgearbeiteter Inhalt des Tutorials

4.1 Exkurs – Digitalisierung von Audiosignalen

Um ein Audiosignal digital übertragen zu können, muss ein analog vorliegendes (zeit- und wertkontinuierliches) Audiosignal (elektrische Wechselspannung) zunächst in ein digitales (zeit- und wertdiskretes Signal) umgewandelt werden (vgl. Lerch / Weinzierl, 2008: 787-790). Der Vorgang wird als A/D (Analog / Digital)-Wandlung bezeichnet. Für die Wandlung in ein digitales Signal sind folgende drei Schritte nötig: Sampling, Quantisierung und Codierung.

4.1.1 Sampling

Beim Sampling wird das Audiosignal in einer bestimmten vorher festgelegten Frequenz (Sample Rate) abgetastet. Damit wird das Signal von einem zeitkontinuierlichen in ein zeitdiskretes Signal umgewandelt. Bei allen dieser Abtastproben (Samples) wird die Höhe der Spannung gemessen. Je höher die Samplerate ist, desto genauer kann die ursprüngliche analoge Wechselspannung reproduziert werden (Abbildung 1).

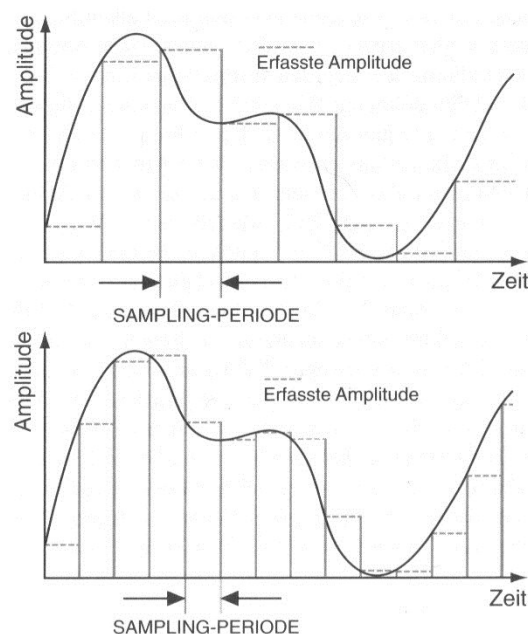


Abbildung 1: Sampling mit verschiedenen Sample Rates

Dabei besagt das Nyquist-Theorem, dass die Sample Rate mindestens doppelt so hoch sein muss, wie die höchste Frequenz im zu wandelnden Signal. Um ein Audiosignal im hörbaren Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz zu wandeln, muss die Sample Rate daher mindestens 40 kHz betragen. Liegen Frequenzen des analogen Audiosignals oberhalb des hörbaren Bereiches, kann es beim Sampling mit nur 40 kHz jedoch zu Fehlinterpretationen bei der Rückwandlung kommen. Wie in Abbildung 2 zu erkennen ist, können dabei Frequenzen im hörbaren Frequenzbereich entstehen, die vor dem Sampling nicht vorhanden waren (Alias-Frequenzen) (vgl. Henle, 2001: 73-74).

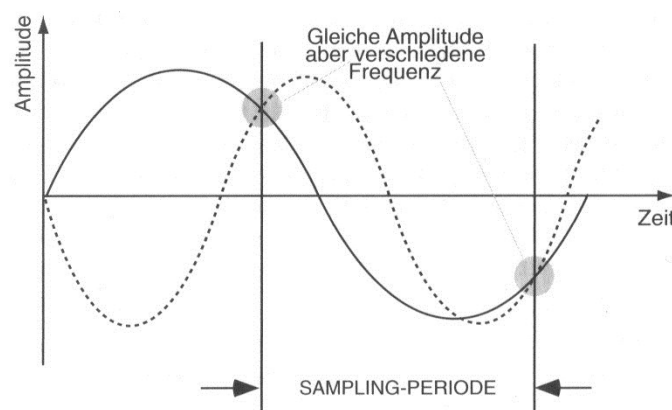


Abbildung 2: Zustandekommen eines Aliasing-Fehlers

Um diese Fehler zu vermeiden, werden vor dem Sampling die zu hohen Frequenzen durch einen Filter in Form eines Tiefpasses beschnitten (vgl. Lerch / Weinzierl, 2008: 789). Ein Filter kann jedoch keine unendlich hohe Flankensteilheit aufweisen. Außerdem gehen mit zunehmender Flankensteilheit des Tiefpasses immer größere Veränderungen des Phasenverlaufes einher. Daraus folgt, dass die Sample Rate höher sein muss, als die doppelte durch den Tiefpass bestimmte obere Grenzfrequenz. Durch die erhöhte Sample Rate kann ein weniger steiler Tiefpass verwendet werden und der Phasengang bleibt weitgehend linearer (vgl. Henle, 2001: 75). Übliche Sample Rates sind 44,1 kHz und 48 kHz. Um dem Kompromiss mit dem Tiefpass weitgehend zu entgehen, wird oftmals auch das sogenannte Oversampling angewendet. Dabei wird das analoge Signal mit einer sehr viel höheren Sample Rate (doppelt oder vierfach so hoch) abgetastet. Dadurch wird das analoge Filterdesign stark vereinfacht. Der eigentliche Aliasingfilter befindet sich aber auf digitaler Ebene. Die zusätzlichen Samples werden nicht mit übertragen bzw. aufgezeichnet, sondern dienen einzig der Filterung. Bei der Rückwandlung in ein analoges Signal (D/A-Wandlung) werden Samples wieder

hinzugefügt, deren Wert durch Interpolation berechnet wird (vgl. Henle, 2001: 76). Nachteilig sind dabei die hohen entstehenden Datenmengen. Im Vergleich zum normalen Sampling können bis zu viermal so hohe Datenmengen entstehen. Dazu ist leistungsstarke Rechentechnik notwendig.

4.1.2 Quantisierung und Codierung

Bei der Quantisierung wird das immer noch wertkontinuierliche Signal in ein wertdiskretes Signal umgewandelt. Die gemessenen Spannungswerte der einzelnen Samples werden mit einer gestuften Skala verglichen. Der Spannungswert nimmt dann einen Wert an, welcher der Ordnungsnummer der am nächsten liegenden Stufe entspricht. Die Anzahl der Stufen bestimmt die Genauigkeit dieser Zuordnung und wird durch die Wortbreite der später entstehenden Datenworte bestimmt. Da der Spannungswert jedoch innerhalb einer Stufe liegen kann, entstehen Quantisierungsfehler, die maximal die \pm Spannungsdifferenz von \pm einer halben Stufe betragen. Währenddessen wird das Ausgangssignal mit der konkreten Spannung der jeweiligen Stufe ausgegeben. Diese Quantisierungsfehler äußern sich im sogenannten Quantisierungsrauschen (vgl. Romahn, 2014: 668).

Bei der Codierung werden den diskreten Spannungswerten Binärcodes zugeordnet. Die Wortbreite beträgt meistens 16, 24 oder 32 Bit. Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass eine große Wortbreite Quantisierungsfehler reduziert, da die Abstufung der diskreten Werte kleiner ist. Jedoch gilt ähnlich wie bei der Erhöhung der Sample Rate, dass die entstehenden Datenmengen steigen und schnelle Rechentechnik und größere Speicherkapazitäten notwendig sind.

4.2 Aktueller Entwicklungsstand

Als professioneller Standard gilt heute immer noch der MADI-Standard, der Ende 1989 eingeführt und als AES10 standardisiert wurde. Entwickelt wurde MADI ursprünglich von Sony, Mitsubishi, Neve und SSL (vgl. Görne, 2011: 224-225).

Das Format ermöglicht die Übertragung von bis zu 64 Audiokanälen bei einer Wortbreite von 24 Bit und einer Sample Rate von bis zu 48 kHz ($\pm 12,5$ % Varispeed) im Zeitmultiplex (TDM) (vgl. Görne, 2011: 224). Die Toleranz von 12,5 % ist für die Kompatibilität mit digitalen Bandmaschinen vorgesehen (vgl. Görne, 2011: 225). MADI ist stets als Punkt-zu-Punkt-Verbindung ausgelegt. Es können auch zusätzliche Daten wie MIDI-Daten übertragen werden. Bei Verringerung der maximalen Kanalzahl kann auch mit doppelter (Double Wire) oder vierfacher (Quad Wire) Sample Rate übertragen werden (vgl. RME, o.J.). Im Double-Wire-Betrieb können maximal 32 Kanäle, im Quad-

Wire-Betrieb maximal 16 Kanäle übertragen werden. Eine Synchronisation von Sender und Empfänger sollte extern stattfinden. Zwar können viele Empfänger den Takt aus dem Signal regenerieren, jedoch kann dabei Jitter auftreten (vgl. Görne, 2011: 225). Als Jitter werden Schwankungen des Abtasttaktes bezeichnet. Diese Schwankungen können großen Einfluss auf den Klang nehmen, da das Signal verzerrt wird (vgl. Görne, 2011: 232).

Die Übertragung von MADI erfolgt in Form von Frames. Ein Frame enthält wiederum 64 Subframes. Bei der Entwicklung des MADI-Formats wurde eine Kompatibilität zur Framestruktur von AES/EBU (AES3-Standard) angestrebt. Somit sind die Subframes von MADI und AES/EBU bis auf die ersten vier Bits (0...3) identisch.

Ein MADI-Subframe besteht aus 32 Bits. Die Aufteilung der Bits ist in Tabelle 1 dargestellt.

0	1	2	3	4 - 27	28	29	30	31
FS	On/ Off	A/B	BS	Audiodaten	V	U	C	P

Tabelle 1: Bit-Aufteilung eines MADI-Subframes

Bit 0 markiert die Grenze eines Frames (Frame Sync). Bit 1 sagt aus, ob der Kanal aktiv ist (verwendet wird). Da der MADI-Standard AES3-kompatibel ist, kennzeichnet Bit 2, um welchen der beiden über AES3 übertragbaren Kanäle (A oder B) es sich handelt. Bit 3 markiert die Blockgrenze von AES3 (Block Sync). Die folgenden 24 Bits (Bits 4 – 27) stellen die eigentliche Audioinformation dar. Bit 28 gibt Auskunft über die Gültigkeit eines Subframes (Validity). Dieses Bit wird bei der Erkennung eines Fehlers gesetzt. Über Bit 29 können anwendungsspezifische Informationen übertragen werden (User Data Bit). Bit 30 (Channel Status Bit) kann verschiedene Funktionen haben, z.B. Informationen zu Sample Rate oder Unterscheidung von professionellem oder Consumer-Format. Bit 31 (Parity) wird zur Fehlererkennung verwendet (vgl. Görne, 2011: 222-225).

Als Übertragungsmedium für MADI werden entweder Lichtwellenleiter oder koaxiale 75-Ω-Leitungen mit BNC-Steckern verwendet. Die optische Übertragung hat jedoch Vorteile gegenüber der elektrischen. Zum einen existiert eine komplette galvanische

Trennung von Sende- und Empfangsgerät, zum anderen ist die Reichweite um ein vielfaches höher. Bei der Übertragung über Lichtwellenleiter wird zwischen Singlemode und Multimode unterschieden. Bei Multimode-Kabeln entstehen Totalreflexionen am Mantelglas. Damit wird die Strahlung im Glasfaserkern geführt. Die maximale Reichweite beträgt ca. 2000 m. Bei Singlemode-Kabeln sind die Durchmesser so gering, dass das Verhalten eines Wellenleiters auftritt. Die Informationsübertragung erfolgt im Kern. Es erfolgt keine Reflexion an der Grenzfläche (siehe Abbildung 3). Dadurch ist eine Reichweite von bis zu 10.000 m möglich. Die unterschiedliche Führung des Lichtes wird in Abbildung 3 verdeutlicht. Mit koaxialen Leitungen ist eine Reichweite von ca. 80 m, je nach Qualität des Signals, möglich (vgl. RME, o.J.).

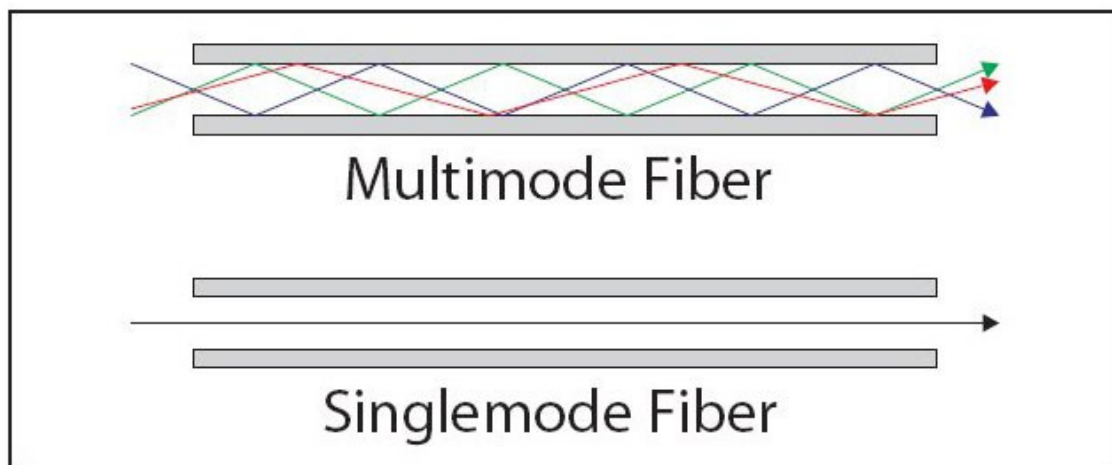


Abbildung 3: Signalführung in Multimode- und Singlemode-Lichtwellenleitern

Zusammenfassend sollen im Folgenden die Eigenschaften von MADi nochmals aufgezeigt werden:

- Übertragung von bis zu 64 Kanälen mit bis zu 48 kHz / 24 Bit
- Verdopplung oder Vervielfachung der Samplerate (bei geringerer maximaler Kanalzahl)
- Übertragung von zusätzlichen Daten wie MIDI möglich
- Stets Punkt-zu-Punkt-Verbindung
- Elektrisch (koaxial) oder optisch (Lichtwellenleiter) übertragbar

MADI wird in professionellen Rundfunkübertragungen und Studioumgebungen eingesetzt. Vorteilhaft sind die hohe maximale Kanalzahl im Gegensatz zu anderen Formaten, die optische Übertragung und die Möglichkeit, zusätzliche Daten zu übertragen. Aufgrund der vielen Vorteile ist MADI in professionellen Audiogeräten implementiert. Dadurch werden fast alle professionellen Geräte miteinander kompatibel. Vor allem Lichtwellenleiter sind sehr kostengünstig, weshalb die Vernetzung in Rundfunkhäusern mit diesem Übertragungsmedium vorteilhaft ist.

4.3 Audio over IP

Audio over IP bildet einen anderen Weg, Audiodaten digital zu übertragen. Die Audiodaten werden über das Internet Protocol (IP) in Datenpakete verpackt. Der Datentransport ist nicht einzig auf eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung beschränkt. Audiosignale können auch innerhalb des Netzwerkes verteilt werden und parallel an verschiedenen Punkten abgegriffen werden (vgl. Hildebrand, 2010: 2).

4.3.1 Das OSI Referenzmodell

Das OSI Referenzmodell wurde 1977 von der International Standards Organisation entwickelt. Es beschreibt sieben Schichten (Layer), die zur Kommunikation innerhalb offener Netzwerke zwischen einem Sender und einem Empfänger notwendig sind. Das Modell beschreibt dabei lediglich die Funktionen, die einzelne Schichten haben und erfüllen sollen, aber keine konkrete Netzwerkarchitektur. Die Verarbeitung der Daten auf den einzelnen Schichten erfolgt nach festgelegten Regeln. Diese werden durch Protokolle beschrieben. So ist eine exakte Kommunikation zwischen den gleichen Schichten auf Sender- und Empfängerseite möglich. Das OSI Referenzmodell ist in Abbildung 4 dargestellt (vgl. Meinel / Sack, 2012: 41-42).

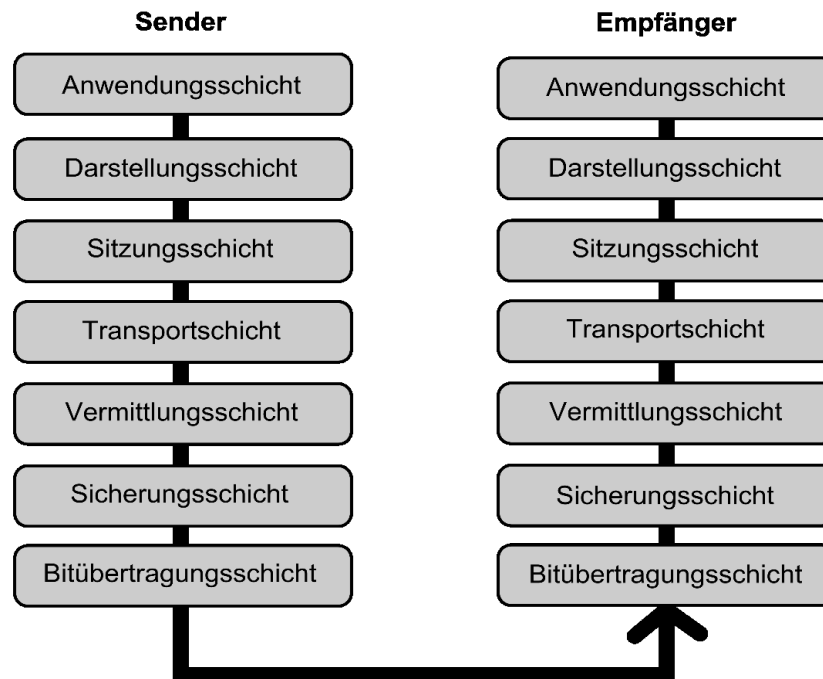


Abbildung 4: Das ISO / OSI Referenzmodell

Die unterste Schicht ist die Bitübertragungsschicht (Physical Layer). Auf dieser Ebene werden technische und physikalische Eigenschaften des Übertragungskanals definiert (vgl. Meinel / Sack, 2012: 42). Darunter zählen beispielsweise die Festlegung der Belegung von Steckverbindungen und Kabelspezifikation. In dieser Schicht erfolgen Aufbau und Beendigung der Verbindung und die Umformung eines binären Datenstroms in ein für das Übertragungsmedium übertragbares Signal (z.B. elektrisch oder optisch) (vgl. Meinel / Sack, 2012: 43).

Die zweite Schicht des OSI Referenzmodells ist die Sicherungsschicht (Data Link Layer). Hier werden Daten zwischen mehreren Netzwerkkomponenten übertragen. Es wird eine sichere Übertragung trotz eventueller Fehler auf der ersten Schicht gewährleistet. Die Daten werden in logischen Einheiten (Frames) organisiert. Die Übertragung erfolgt mit Verfahren zur Fehlererkennung (vgl. Meinel / Sack, 2012: 43). Am meisten verbreitet, auch in der Audioübertragung, ist der Ethernet-Standard.

Die dritte Schicht ist die Vermittlungsschicht (Network Layer). Auf dieser Schicht erfolgen die Adressierung und die Weiterleitung der Datenpakete (Routing). Hier werden einzelne Netzwerke miteinander verknüpft (Internetworking). Das am weitesten verbreitete Protokoll in dieser Schicht ist das Internet Protocol (vgl. Meinel / Sack, 2012: 44).

In der vierten Schicht, der Transportschicht (Transport Layer) wird eine sichere, transparente Datenübertragung von einem zum anderen Ende gewährleistet. Es wird sichergestellt, dass die Datenpakete fehlerfrei und in der richtigen Reihenfolge übertragen werden. Die wichtigsten Protokolle sind TCP (Transport Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) und RTP (Real-time Transport Protocol), wobei nur UDP und RTP für Echtzeitübertragungen verwendet werden (vgl. Meinel / Sack, 2012: 44).

Die oberen drei Schichten (Sitzungsschicht, Darstellungsschicht und Anwendungsschicht) sollen in diesem Abschnitt nicht weiter erläutert werden, da für die Beschreibung von Audio over IP vor allem die ersten drei Schichten relevant sind.

Die Kommunikation zwischen Sender und Empfänger kann virtuell nur horizontal erfolgen, d.h. ein auf Ethernet (zweite Schicht) basierender Sender kann nur mit einem auf Ethernet basierendem Empfänger kommunizieren, jedoch nicht bspw. mit einem auf IP basierendem Empfänger. In Wirklichkeit bedient sich jedoch die Sicherungsschicht der Bitübertragungsschicht, um die Daten physikalisch zum Empfänger übertragen zu können. Virtuell findet die Kommunikation also horizontal zwischen den Schichten statt, aber in der Realität ist die Kommunikation auf der Senderseite nach unten und auf der Empfangsseite wieder nach oben gerichtet (vgl. proaudio.de, 2014).

4.3.2 Audioübertragungsformate im OSI Referenzmodell

Netzwerkbasierende Formate lassen sich nach den verschiedenen Schichten des OSI Referenzmodells klassifizieren (vgl. Hildebrand, 2010: 5). Die meisten dieser Formate sind aber sehr proprietär ausgelegt, d.h. sie sind nur herstellergebunden einsetzbar. Die Gründe liegen oft in der Hersteller- und Lizenzpolitik. Endkunden sind gezwungen, nur Produkte eines Herstellers zu nutzen, um ein bestimmtes Format in vollem Umfang nutzen zu können.

Formate basierend auf der Bitübertragungsschicht

Manche netzwerkbasierende Lösungen arbeiten nur auf der untersten Schicht des OSI Referenzmodells (Layer-1-basierte Systeme). Sie nutzen zwar standardisierte Übertragungsmedien (Kupferdraht oder Lichtwellenleiter), aber die Verpackung der Daten, Herstellung der Synchronisation etc. ist herstellerabhängig. Beschränkungen liegen in der vom Hersteller vorgegebenen Kanalkapazitäten, Datenformate und Inhalte. Um diese Technik zu implementieren, müssen i.d.R. Lizenzgebühren an den Hersteller entrichtet werden. Vorteilhaft ist meistens die Stabilität der Systeme, da die Technolo-

gien vom Hersteller nur für die eigenen Geräte und Einsatzzwecke entwickelt wurden (vgl. proaudio.de, 2014).

Ein Vertreter dieser Layer-1-basierten Übertragungsformate ist das A-Net, das von Aviom entwickelt und verwendet wird. Über Pro16 A-Net lassen sich 16 Kanäle übertragen. Der Aufbau des Netzwerkes ist nur mit Geräten des Herstellers möglich, z.B. mit dem A-16D Pro A-Net Distributor, mit dem Audiodaten auf mehrere Personal Monitoring Mixer verteilt werden können (vgl. Aviom, 2014).

Ein weiteres Layer-1-basiertes Format ist RockNet, das von Riedel entwickelt wurde. Geräte mit RockNet-Implementierung sind für die Integration in eine redundante Ringtopologie ausgelegt, um auch bei Ausfall einer Verbindung eine sichere Übertragung zu gewährleisten. Es gibt zwei Ausführungen von RockNet, wobei über RockNet 100 die Übertragung von bis zu 80 Kanälen und über RockNet 300 die Übertragung von 160 Kanälen möglich ist. Mit RockNet 300 sind auch Übertragungen mit einer Sample Rate von 96 kHz möglich, mit RockNet 100 sind nur Übertragungen mit 48 kHz möglich. Das System bietet außerdem die Möglichkeit des Independent Gain, womit verschiedene Gain-Einstellungen im Netzwerk (z.B. am Monitormischpult und am FOH-Mischpult) möglich sind (vgl. Riedel, 2015a).

Ebenfalls von Riedel ist auch das Format MediorNet ein Layer-1-basiertes Übertragungsformat. Die Übertragung erfolgt hier über Lichtwellenleiter. Signale können innerhalb eines Netzwerkes geroutet werden. Auch die Übertragung von Videodaten ist in diesem Format möglich. Mögliche Topologien sind Ring-, Stern und Daisy-Chain (vgl. Riedel, 2015b).

Weitere Layer-1-basierte Übertragungsformate sind bspw. Soundweb (BSS) und Optocore.

Formate basierend auf der Sicherungsschicht

Wiederum andere proprietäre Formate sind auf der zweiten Schicht des OSI Referenzmodells angesiedelt. Die meisten dieser Systeme basieren auf einer Ethernet-Infrastruktur, weshalb diese Formate unter den Oberbegriff „Audio over Ethernet“ zusammengefasst werden. Auf dieser Ebene können bereits handelsübliche Ethernet-Switches verwendet werden. Auch können standardisierte Netzwerk-Topologien, die mit Ethernet möglich sind, aufgebaut und verwendet werden. Jedoch sind auch diese Formate proprietär und garantieren keine fehlerfreie Übertragung, wenn andere Dienste das gleiche Netzwerk verwenden. Wie auch bei den auf der Bitübertragungsschicht basierenden Lösungen müssen Hersteller, die diese Technik implementieren wollen, Lizenzgebühren an den Lizenzgeber entrichten. Auch diese Systeme arbeiten im

Rahmen ihrer Möglichkeiten leistungsfähig und mit geringer Latenz (vgl. proaudio.de, 2014).

Ein Vertreter dieser Formate ist das von Digigram entwickelte Format EtherSound. EtherSound kann auf zwei verschiedene Arten mit den verschiedenen Bandbreiten 100 Mbit / s (ES-100 Audio Transport) oder 1 Gbit / s (ES-Giga System Transport) betrieben werden. Über ersteres können 64 Kanäle bidirektional mit 24 Bit / 48 kHz übertragen werden. Beide Arten sind nicht miteinander kompatibel. Über ES-Giga System Transport können 256 Kanäle bidirektional ebenfalls mit 24 Bit / 48 kHz übertragen werden. Bei Verringerung der maximalen Kanalzahlen sind auch höhere Sample Rates möglich (vgl. Digigram, o.J. a und b).

Eine weitere auf Ethernet basierende Technologie ist AVB (Audio Video Bridging). AVB sollte schon vor längerer Zeit für den Consumer-Bereich standardisiert werden. Zu dieser Arbeitsgruppe der IEEE gehörten auch professionelle Audio-Unternehmen, um den Standard auch für den Pro Audio-Markt zu konzipieren. Jedoch stellt AVB keine eigenständige Lösung dar, sondern umfasst nur eine Sammlung standardisierter Protokolle, die den Aufbau einer fertigen Lösung erst ermöglichen (vgl. Hildebrand, 2010: 8-9).

Formate, bei denen die Kommunikation ebenfalls auf dem Ethernet-Protokoll basiert, sind das Format CobraNet von Cirrus und SoundGrid von Waves.

Formate basierend auf der Vermittlungsschicht

Formate die auf der dritten Schicht des OSI Referenzmodells arbeiten, werden unter dem Obergriff „Audio over IP“ zusammengefasst, da die Regelung der Datenübertragung durch das Internet Protocol beschrieben wird. Formate auf dieser Schicht sind oftmals noch proprietär ausgelegt. Zwar werden standardisierte Protokolle verwendet, jedoch ist die Kerntechnologie eine „Black Box“, für deren Implementierung ebenfalls Lizenzgebühren zu entrichten sind (vgl. Hildebrand, 2010: 6). Auf dieser Schicht basierende Lösungen bieten die Möglichkeit, alle bekannten Netzwerk-Topologien, die von IP-Netzwerken grundsätzlich unterstützt werden, zu verwenden. Es werden keine speziellen Switches für den Aufbau benötigt und die Größe des Netzwerkes wird nicht beschränkt, da die IP-Pakete geroutet werden können. Auf Transportebene werden meist standardisierte Protokolle, die dem Internet Protocol zugrunde liegen, verwendet (vgl. proaudio.de, 2014).

Eine schon ältere Layer-3-basierte Lösung ist Livewire von Telos/Axia. Livewire verwendet zwei Arten der Übertragung – Livestreams und Standard Streams. Im Livestream-Betrieb sind die Datenpakete kleiner, als im Standard Stream. So lassen sich dort kleinere Latenzen realisieren. Dies ist z.B. in Live-Situationen (Monitoring) der Fall.

Geräte in diesem Netzwerk können in beiden Übertragungsarten senden und empfangen. Ein speziell entwickeltes Clock-System ermöglicht eine geringe Buffer-Größe und damit geringe Latenzen. Auch andere Dienste können das Netzwerk in Anspruch nehmen, ohne die Livewire-Übertragung zu beeinflussen. Eingesetzt wird Livewire vor allem im Broadcastbereich (vgl. The Telos Alliance, 2015).

Ein weiteres auf IP basierendes Format ist Dante. Dante ist 2006 vom Unternehmen Audinate entwickelt worden. Das Format ist vor allem im Live- und Installationsbereich verbreitet (vgl. proaudio.de, 2014). Über eine virtuelle Soundkarte kann die Netzwerkschnittstelle eines handelsüblichen PC für Recording genutzt werden. Über 135 Hersteller von Audioequipment haben die Technologie bereits implementiert (vgl. Audinate, o.J.).

Weitere Formate sind Wheatnet-IP von Wheatstone, N/ACIP von EBU (European Broadcasting Union), Q-LAN von QSC Audio Products und RAVENNA von ALC NetworkX. Letzteres soll in einem späteren Teil dieser Arbeit noch genauer behandelt werden.

4.3.3 Vorteile von Audio over IP

Ein großer Vorteil, der bei der Übertragung von Audiodaten über IP-basierte Netzwerke besteht, ist die große Verfügbarkeit der Netzwerke. Auf der ganzen Welt werden IP-Netzwerke verwendet und von qualifiziertem Personal administriert und gepflegt. Außerdem kann für den Aufbau der Netzwerke meist handelsübliches Netzwerkequipment (Switches, Router) verwendet werden. Da in vielen Einrichtungen (Rundfunkhäuser, Stadien) schon bestehende IP-Netzwerke vorhanden sind, ist eine große Kostenersparnis möglich.

Des Weiteren werden unter IP standardisierte Protokolle verwendet. Diese Protokolle werden i.d.R. stark unterstützt.

Ein weiterer großer Vorteil sind die Routing-Möglichkeiten durch adressierbare Datenpakete. Somit können Daten auch außerhalb eines lokalen Netzwerksegments verteilt werden.

Über die eingebaute Netzwerkschnittstelle können sogar PCs Datenpakete empfangen und aussenden. Eine Hardware-Soundkarte wird damit überflüssig. Manche Hersteller bieten zu ihrem Audio over IP-Format eine softwareseitige Virtual Soundcard an.

Mit dieser breiten und weltweiten Unterstützung des Internet Protocols und dessen zugrundeliegenden Transport- und Synchronisationsprotokollen kann die Möglichkeit

der Echtzeit-Audioübertragung über diese Netzwerke als äußerst zukunftsicher eingeschätzt werden (vgl. proaudio.de, 2014).

4.4 RAVENNA

4.4.1 Entstehung

RAVENNA wurde im Jahr 2010 von dem Unternehmen ALC NetworX eingeführt (vgl. proaudio.de, 2014). ALC NetworX ist ein im Jahr 2007 gegründetes Unternehmen, das sich auf die Entwicklung von netzwerkbasierenden Lösungen für die Echtzeit-Verteilung von multimedialen Daten im Broadcastbereich spezialisiert hat. Seinen Sitz hat das Unternehmen in München (vgl. ALC NetworX, o.J.). Andreas Hildebrand (2014) vom Unternehmen ALC NetworX definierte in einem Video für proaudio.de RAVENNA wie folgt:

„RAVENNA ist eine Technologie für die synchronisierte, echtzeitkritische Verteilung von echtzeitsensitiven Mediadaten auf qualifizierten IP-Netzwerk-Infrastrukturen.“

Bei der Entwicklung von RAVENNA wurde eine offene Technologieplattform angestrebt. Die Übertragung erfolgt daher nur über standardisierte Protokolle. Außerdem werden keine Lizenzgebühren vom Entwickler für die Implementierung erhoben. Das Unternehmen dient auch nicht als Technologielieferant, sondern veröffentlicht frei Beschreibungen der Technologie, sodass diese vom Hersteller für seine Zwecke frei implementiert werden kann. Durch ein offenes Partnerschaftsmodell wurde die Technologie in den Markt eingeführt. Diesem Partnerschaftsmodell gehören bereits zahlreiche namhafte Hersteller, wie Sennheiser, Lawo, DirectOut Technologies und Neumann an (vgl. Hildebrand, 2010: 17). Das Unternehmen ALC NetworX wirkte aktiv an der Standardisierung von Audio over IP mit, sodass die Technologie nicht nur kompatibel sondern auch vollkommen deckungsgleich zu den in AES67 festgelegten Spezifikationen ist (vgl. Hildebrand, 2014).

4.4.2 Technologie

RAVENNA basiert vollständig auf der Vermittlungsschicht (Layer 3) des OSI Referenzmodells und liegt damit dem Internet Protocol zugrunde (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 8). Somit kann die Technologie in qualifizierten IP-Netzwerken weltweit verwendet werden. Parallel kann das für die Übertragung von RAVENNA-Datenpaketen verwendete Netzwerk auch für den Datentransfer anderer Dienste verwendet werden. RAVENNA zeichnet sich durch eine sehr geringe Latenz im einstelligen Millisekunden-Bereich oder darunter aus. Damit sind auch besonders

echtzeitkritische Anwendungen wie Live-Anwendungen (In-Ear-Monitoring) möglich. Die Zahl der maximal übertragbaren Kanäle ist nicht wie bei herkömmlichen Lösungen fest vorgegeben, sondern von der Geschwindigkeit der Netzwerkarchitektur abhängig (vgl. proaudio.de, 2014). RAVENNA wurde für Unicast- und Multicast-Übertragungen entwickelt. Mit Unicast können die Inhalte von einem Sender an einen Empfänger gesendet werden. Mit Multicast kann ein Sender Daten an mehrere verschiedene Netzwerkgeräte senden (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 8).

Für den Aufbau eines RAVENNA-Netzwerkes werden drei Dinge benötigt: Eine IP-unterstützende Netzwerkinfrastruktur, ein Synchronisationsmaster und zwei oder mehr RAVENNA-Nodes (Geräte) (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 6).

Merkmale einer RAVENNA-Netzwerkarchitektur

Die Netzwerkinfrastruktur muss in der Lage sein, IP-Pakete zu transportieren. Außerdem muss das Netzwerk standardisierte Netzwerkprotokolle unterstützen (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 6). Das Netzwerk muss eine bestimmte Dienstgüte aufweisen (Quality of Service), da RAVENNA für Echtzeitübertragung und damit eine möglichst geringe Latenz vorgesehen ist. RAVENNA-Datenpakete müssen daher bei der Übertragung bevorzugt werden. Die Technologie unterstützt volle Netzwerkredundanz, d.h. durch zwei vorhandene Netzwerkschnittstellen, können zwei unabhängige physische Netzwerke angeschlossen werden. Beim Ausfall einer Verbindung kann der Datenverkehr über andere Verbindungen abgewickelt werden (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 9). Auf diese Weise ist jederzeit ein sicherer Betrieb mit Ausfallsicherheit gewährleistet. Abbildung 5 zeigt einen schematischen redundanten Aufbau eines RAVENNA-Netzwerkes.

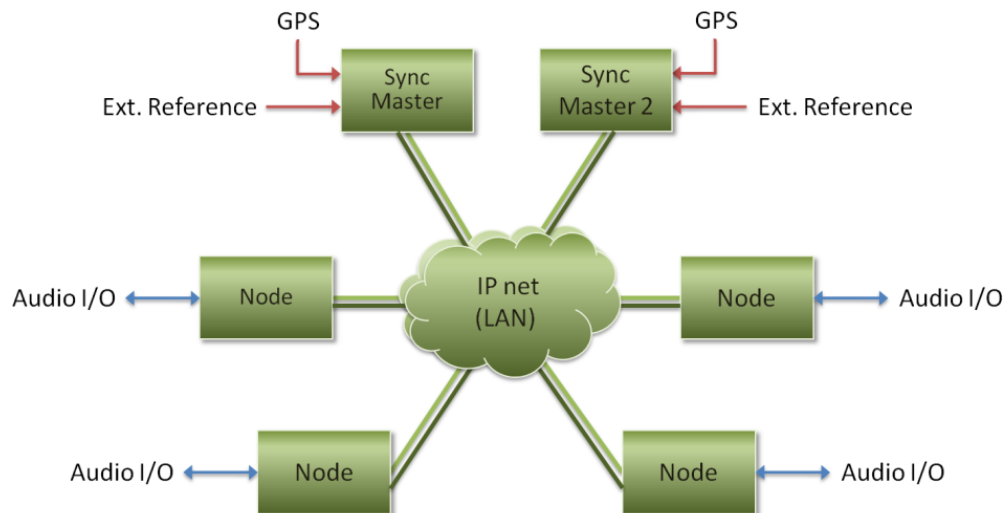


Abbildung 5: RAVENNA Redundanz-Konzept

Synchronisation

Die Synchronisation erfolgt bei RAVENNA über einen Synchronisationsmaster. Dieser Synchronisationsmaster wird durch eine externe Referenz gesteuert. Diese externe Referenz ist in den meisten Fällen GPS (Global Positioning System) (vgl. proaudio.de, 2014). Die exakte Information über die absolute Zeit wird über das Netzwerk an alle Netzwerkgeräte gesendet. Dazu wird das Precision Time Protocol (PTP) verwendet. Der Synchronisationsmaster kann ein eigenständiges Gerät sein oder auch eine RAVENNA-Node, die dazu in der Lage ist, als Master zu dienen (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 6). Mit Hilfe der Zeitinformationen werden die Media Clock Generatoren in den Geräten angesteuert.

RAVENNA-Nodes

Eine RAVENNA-Node muss in jedem Gerät im Netzwerk enthalten sein, um Audiodaten in IP-Netzwerk-Datenpakete zu übersetzen bzw. Datenpakete wieder zu entpacken und die Audiodaten mit Hilfe der absoluten Zeitinformation samplegenau auszuspielen (siehe Abbildung 6 und 7) (vgl. proaudio.de, 2014).

Über das Netzwerk empfängt die Node die Zeitinformation des Synchronisationsmasters. Diese Zeitinformation ist notwendig, um die inneren Uhren der Nodes exakt zu synchronisieren. Die Genauigkeit liegt im Bereich von Nanosekunden. Aus der exakten Zeit dieser inneren Uhr der Node generiert der Media Clock Generator die Sample Rate des Audiosignals. Eingehende analoge Signale werden bei der Digitalwandlung mit

dieser generierten Sample Rate abgetastet. Eingehende digitale Signale (z.B. über MADI) werden im Takt der Media Clock verarbeitet. Die Samples werden durch die innere Uhr der Node mit einem Zeitstempel versehen und in einen Sample Buffer abgelegt. Dort werden die Samples für die Paketierung abgelegt. Sind die Samples in Pakete verpackt, werden die Pakete über die Netzwerkschnittstelle ins Netzwerk ausgesendet (vgl. proaudio.de, 2014).

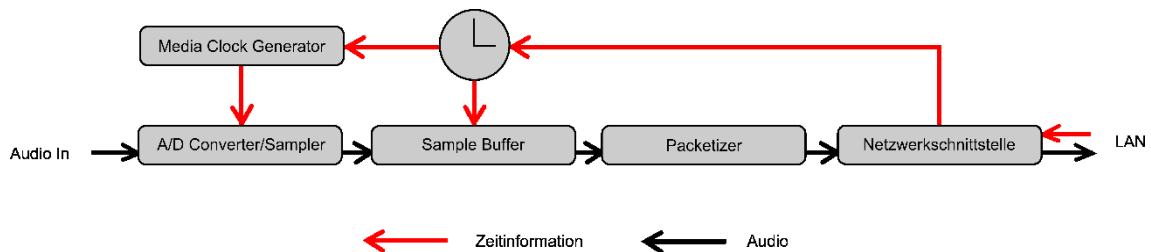


Abbildung 6: Schematischer Aufbau einer RAVENNA-Node und Aussendevorgang von Audiodaten ins Netzwerk

Der Empfang von RAVENNA-Paketen erfolgt in umgekehrter Reihenfolge (siehe Abbildung 7): Die Pakete werden über die Netzwerkschnittstelle empfangen und anschließend entpackt. Die Samples werden dann wieder in einem Sample Buffer abgelegt, um einerseits Jitter (Packet Delay Variation) auszugleichen und andererseits die Daten zum richtigen Zeitpunkt anhand der absoluten Zeit der inneren Uhr auszugeben. Nur so können mehrere Streams miteinander samplegenau korrelieren. Der D/A-Wandler wird durch den Media Clock Generator wiederum mit dem generierten Takt in einer bestimmten Sample Rate versorgt (vgl. proaudio.de, 2014).

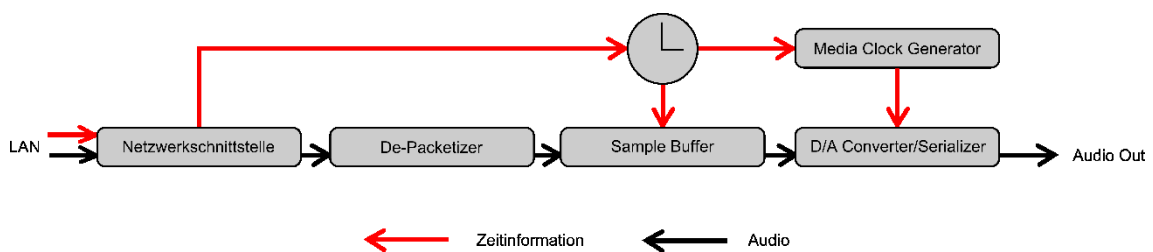


Abbildung 7: Schematischer Aufbau einer RAVENNA-Node und Empfangsvorgang von Audiodaten aus dem Netzwerk

Protokolle

RAVENNA nutzt ausschließlich standardisierte und bewährte Netzwerkprotokolle. So ist gewährleistet, dass das Format mit allen qualifizierten IP-Netzwerken der Welt arbeiten kann (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 3). Außerdem gibt es Personal, das in der Lage ist, solche Netzwerke auch zu pflegen und zu administrieren (vgl. proaudio.de, 2014).

Als Basis für die Übertragung von RAVENNA-Daten dient das Internet Protocol. Es ist auf der Vermittlungsschicht des OSI Referenzmodells angesiedelt. Diesem Protokoll liegen weitere Protokolle für Transport und Synchronisation zugrunde (vgl. Hildebrand, 2014: 7).

Eines dieser dem IP zugrundeliegenden Protokolle ist das Precision Time Protocol (PTP). Das PTP wurde durch das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) unter IEEE1588 standardisiert (vgl. Heinzmann / Michl / Hildebrand, 2011: 8). Es wird verwendet, um jedem Gerät im Netzwerk eine exakte Information über die absolute Zeit zu geben. Auf diese Weise werden wie oben beschrieben alle Geräte (Nodes) miteinander synchronisiert. Die Information über die absolute Zeit ist wichtig für das Generieren der Media Clock und für die Vergabe von Zeitstempel an jedes Sample für die Bestimmung des zeitrichtigen Ausspielzeitpunktes.

Ein Protokoll, das unmittelbar auf das Internet Protocol aufbaut, ist das User Datagram Protocol (UDP). Das User Datagram Protocol ist in der Transportschicht des OSI Referenzmodells angesiedelt. Im Gegensatz zum weit verbreiteten Transport Control Protocol (TCP) muss hier keine Verbindung zum Kommunikationspartner auf- bzw. wieder abgebaut werden. Das UDP arbeitet effizienter und ist einfacher zu implementieren als das TCP (vgl. Meinel / Sack, 2012: 650).

Über das UDP wird das Real-time Transport Protocol (RTP) betrieben. Es stellt eine möglichst isochrone Datenübertragung sicher. Dies geschieht durch die Vergabe von Sequenznummern für jedes Paket für eine korrekte Reihenfolge und die Erkennung fehlender Pakete. Auch ist das Protokoll für die Vergabe von Zeitstempeln zuständig (vgl. Meinel / Sack, 2012: 50).

Über das Protokoll RTCP (Real-time Transport Control Protocol) werden Informationen zur aktuellen Leistung der Netzwerkinfrastruktur innerhalb des Netzwerks ausgetauscht (vgl. Meinel / Sack, 2012: 853).

Technische Merkmale von RAVENNA

In diesem Teil der Arbeit sollen die technischen Eigenschaften zusammenfassend betrachtet werden. Die meisten dieser Eigenschaften können gleichzeitig als Vorteil gegenüber anderen Technologien betrachtet werden. Für RAVENNA gelten zunächst auch die allgemeinen Vorteile von Audio over IP, die bereits im Punkt 4.3.3 aufgezeigt wurden.

- ALC NetworX war aktiv an der Festlegung des AES67-Standards beteiligt. Aus diesem Grund ist die Technologie bereits voll kompatibel mit diesem Standard.
- Die maximale Anzahl der zu übertragenden Kanäle ist abhängig von der Netzwerkarchitektur. Somit sind die Systeme frei skalierbar, da die Kanalkapazität nicht durch die Technologie begrenzt wird.
- Aufgrund der permanenten Verteilung exakter absoluter Zeitinformationen, können in den Geräten phasengenaue Media Clocks generiert werden und Daten samplegenau ausgespielt werden. Dadurch können auch unterschiedliche Datenformate oder Datenraten gleichzeitig übertragen werden.
- Abhängig von der Netzwerkinfrastruktur können Latenzen im einstelligen oder im Sub-Millisekunden-Bereich erreicht werden.
- Für eine sichere Übertragung können die Netzwerke voll redundant aufgebaut werden. So ist eine Sicherheit gegen Ausfälle des Systems gewährleistet.
- Die Technologie unterstützt volle Bittransparenz, sodass mit voller Signalbandbreite übertragen wird (vgl. ALC NetworX, 2014).
- Quality of Service wird von RAVENNA unterstützt und genutzt, sodass bestimmte Datenpakete bevorzugt im Netzwerkverkehr behandelt / transportiert werden. So können auch andere Dienste das Netzwerk nutzen, ohne die Echtzeit-Übertragung der RAVENNA-Daten zu beeinflussen.
- Es werden Unicast- und Multicast-Übertragungen unterstützt. So können Daten entweder an einen Empfänger oder auch an mehrere Netzwerkteilnehmer gesendet werden.
- Auch, wenn bisher noch keine Produkte auf dem Markt verfügbar sind, die RAVENNA für die Übertragung von Videodaten nutzen, wurde diese Möglichkeit für das Format mit vorgesehen.

4.4.3 Anwendungsbereiche für RAVENNA

Der primäre Anwendungsbereich von RAVENNA ist der gesamte Rundfunkbereich. Die Stärken der Technologie liegen vor allem in der guten Verteilbarkeit und Verwaltbarkeit von vielen Audiokanälen, durch den Aufbau geeigneter Netzwerke. Vor allem die exakte und einfache Synchronisation kommt dabei zum Tragen. Wenn Produkte auf dem Markt erscheinen, die RAVENNA zur Verteilung von Videodaten nutzen, ist eine echtzeitkritische, einfache und synchrone Verteilung von Audio- und Videodaten möglich. Der Aufwand der Signalverteilung bei herkömmlichen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen war deutlich höher und komplexer. In den Rundfunkbereich zählen auch Übertragungswagen, In-House-Signalverteilung und WAN (Wide Area Network)-Verbindungen.

Aufgrund der geringen Latenzen kann RAVENNA auch im Installations- und Eventbereich eingesetzt werden. Möglich ist die Anwendung in Theatern, Konzerthallen oder Kirchen, aber auch über bestehende Netzwerke in Sportstadien kann RAVENNA betrieben werden.

Ebenso kann RAVENNA im Studiobereich eingesetzt werden. Die Vorzüge liegen vor allem in den variablen Sample Rates, der einfachen Synchronisation und der geringen Latenz.

Wie zu sehen ist, kann RAVENNA sehr vielseitig eingesetzt werden. Aufgrund der vollständigen Kompatibilität zum AES67-Standard können Audiodaten technologieübergreifend ausgetauscht werden, was vor allem dem Hauptanwendungsgebiet Rundfunk zugutekommt. Im folgenden Teil der Arbeit werden dieser Standard und die Organisation AES beschrieben.

4.5 AES67

4.5.1 Die AES

Die Audio Engineering Society (AES) ist eine internationale Organisation für den Bereich Audiotechnik. Gegründet wurde die AES im Jahr 1948 in den USA. Weltweit gibt es mehr als 75 professionelle und mehr als 95 studentische Standorte des Verbandes. Innerhalb der Standorte finden verschiedene Aktivitäten, wie Techniktouren oder Vorträge von Gastrednern statt. Die AES verfolgt Bildungszwecke in Form von Meetings, Ausstellungen und Publikationen. Jährlich finden Tagungen (AES Conventions) in den USA und Europa statt, in denen Präsentationen und Workshops gehalten und Forschungen vorgestellt werden. Die Organisation gibt die Fachzeitschrift „Journal of the

Audio Engineering Society“ heraus, in der auf der AES Convention vorgestellte Forschungen publiziert werden. Bekannt ist die AES vor allem durch das Verfassen internationaler Standards in Bereichen wie digitaler und analoger Tontechnik, Kommunikationstechnik und Akustik. Einer dieser Standards ist der Standardisierung von Audio over IP gewidmet und wird AES67 genannt (vgl. AES, 2015a).

4.5.2 Standardisierung von Audio over IP

Die Standardisierungsarbeit der AES

Kurz nach der Gründung der AES wurde ein Komitee für Standardisierungen gebildet, das AES Standards Committee (AESSC). Mitglieder der AES wirkten in anderen Organisationen mit, welche Standards veröffentlichten (z.B. IEEE). Die AESSC entwickelte zu der Zeit selbst noch keine Standards, berichtete aber im Journal of the Audio Engineering Society über die Standards, die von anderen Organisationen veröffentlicht wurden. Erst 1977 begann die AES mit dem AES Digital Audio Standards Committee mit der Festlegung eigener Standards aufgrund des Bedarfs in der digitalen Audiotechnik. Beispiele für AES-Standards sind der AES3-Standard, der im Fachjargon als AES/EBU bekannt ist, AES10 zur Standardisierung von MADI und Festlegungen für Sample Rates und Synchronisation. Heute werden Arbeitsgruppen für die Arbeit an den einzelnen Standards gebildet. Momentan arbeiten mehr als 1300 Mitarbeiter in zehn Arbeitsgruppen (Task Groups) (vgl. AES, 2015b). Eine dieser Arbeitsgruppen ist die Task Group X192. Sie hatte den Zweck, IP-basierte Audioübertragungsformate für eine Interoperabilität zu standardisieren.

Die AES Task Group X192

Die Arbeitsgruppe der AES, die für den Standardisierungsprozess von Audio over IP zuständig war, hat die Nummer X192 zugewiesen bekommen. Der Standard wurde als AES67 betitelt. Der Leiter der Arbeitsgruppe ist Kevin Gross. Kevin Gross ist bekannt als Gründer von AVA Networks und als Entwickler von CobraNet. Mitglieder sind renommierte Hersteller, Systemarchitekten, Consultants und Endanwender. Gegründet wurde die Task Group Ende 2010. Der AES67-Standard wurde am 11. September 2013 veröffentlicht. Die Task Group erarbeitete den Standard über Webkonferenzen und persönliche Treffen auf AES Conventions (vgl. proaudio.de, 2014).

Hintergrund

Obwohl bestehende Audio over IP-Lösungen mit bereits bestehenden und bewährten Protokollen arbeiten, haben all diese Formate spezifische Eigenheiten im Transport

und in der Synchronisation. Dieser Umstand führt dazu, dass die einzelnen Lösungen nicht interoperabel sind. Mit dem AES67-Standard sollten IP-basierte Audioübertragungsformate standardisiert werden, sodass Systeme, die mit verschiedenen Formaten arbeiten, trotzdem Audiodatenpakete auf IP-Basis austauschen können. Bei der Standardisierung von Audio over IP werden bewusst bereits vorhandene Protokolle verwendet. Die Arbeit an dem Standard sollte dabei keine eigenständige Lösung hervorbringen oder bestehende Lösungen ersetzen. Ziel war es, unter allen Audio over IP-Formaten eine Schnittmenge in bestimmten Bereichen wie Transport, Synchronisation oder Stream-Formaten zu finden und diese als Standard zu definieren. Anpassungen der Formate an die Standards sollten dabei so gering wie möglich ausfallen (vgl. proaudio.de, 2014). Um die Interoperabilität der standardisierten Technologien zu überprüfen, fand Ende Oktober 2014 ein „Plugfest“ am Institut für Rundfunktechnik (IRT) in München statt. Dazu trafen sich zehn Hersteller mit 16 Produkten um die Interoperabilität der Geräte untereinander zu überprüfen. Die Ergebnisse der Tests wurden in einem Bericht von der AES veröffentlicht.

Bestandteile des Standards

Es stellte sich heraus, dass es über alle Technologien hinweg keine Gemeinsamkeiten gab, um eine Interoperabilität zu gewährleisten. So musste der Standard so definiert werden, dass an verschiedenen Stellen Anpassungen bei manchen Formaten gemacht werden mussten. Diese Anpassungen durften aber nicht so umfangreich sein, dass der Hersteller die Motivation für die Unterstützung des Standards verliert. Um die Interoperabilität der verschiedenen Audio over IP-Formate herzustellen, mussten bestimmte Bereiche definiert werden (vgl. proaudio.de, 2014).

Ein wesentlicher Bestandteil war eine Festlegung der Synchronisation und der Media Clock (Sample Rate). Für die Synchronisation wurde das Protokoll PTP festgelegt. Über dieses Protokoll werden exakte Informationen über die absolute Zeit im Netzwerk an alle Geräte verteilt. Ein Synchronisationsmaster dient zur Verteilung der absoluten Zeitinformationen an alle Geräte. Dieser Synchronisationsmaster wird wiederum von einer externen Referenz gesteuert. Die Geräte, welche die Zeitinformationen empfangen, nutzen diese für das Generieren der Media Clock. AES67 unterstützt die Sample Rates 48 kHz und 96 kHz (vgl. Hildebrand, 2014: 12).

Als Basis für die Vermittlungsschicht wurde Internet Protocol Version 4 (IPv4) festgelegt. Bei der Entwicklung wurden allerdings verschiedene Faktoren berücksichtigt, um einen späteren Umstieg auf IPv6 zu erleichtern. AES67 unterstützt sowohl die Adressierungsarten Unicast (one-to-one) als auch Multicast (one-to-many). Auf Transportebene wird durch das RTP die Kodierung und Paketierung der Datenpakete festgelegt (vgl. Hildebrand, 2014: 13).

Im AES67-Standard wurden außerdem die Kodierung und die Payload-Formate festgelegt. Ein AES67-kompatibles Format muss in der Lage sein, Audiodaten mit einer Sample Rate von 48 kHz zu verarbeiten. Als Payload-Format unterstützt werden die Formate L16 (16 Bit linear) und L24 (24 Bit linear). Außerdem wurde für einen guten Kompromiss aus kurzer Latenz und geringer Paketrate die Paketzeit auf 1 ms festgelegt. Das entspricht bei einer Sample Rate von 48 kHz 48 Samples pro Paket. In diesem Zusammenhang ist die maximale Anzahl der Kanäle, die auf einem Stream übertragen werden können, auf 8 Kanäle beschränkt. Es gibt jedoch Empfehlungen zum Variieren der Paketzeit, sodass auch mehr Kanäle über einen Stream übertragen werden können, oder Latenz bzw. Paketrate verändert werden. Es kann aber auch mit mehreren Streams gearbeitet werden, da die Synchronisation durch die absolute Zeit für alle Streams gewährleistet ist (vgl. Hildebrand, 2014: 13-14).

Für das Verbindungsmanagement wurde das Session Description Protocol (SDP) festgelegt. Über dieses Protokoll werden Informationen zum Stream übermittelt. Zusätzlich werden aber auch Informationen wie Paketzeit, Sample Rate und Payload-Format übertragen (vgl. Hildebrand, 2014: 14-15). Für Unicast-Verbindungen muss zusätzlich das SIP (Session Initiation Protocol) unterstützt werden (vgl. proaudio.de, 2014).

Eine weitere Festlegung im AES67-Standard ist die Unterstützung von Quality of Service. Damit werden bestimmte Dienstgütemerkmale des Netzwerkes vorausgesetzt. Geräte und Formate, die dem Standard entsprechen, müssen dies auch unterstützen. Es gibt verschiedene Verfahren von Quality of Service. Im AES67-Standard wurde das Verfahren DiffServ (Differentiated Service) festgelegt. Damit werden die Pakete vor dem Aussenden mit Prioritäts-Tags versehen. Anhand dieser Tags werden Pakete entsprechend ihrer Priorität im Netzwerk bevorzugt von Switches oder Routern verarbeitet bzw. weiterverteilt (vgl. Hildebrand, 2014: 15).

Auch über Discovery wurde bei der Standardisierung diskutiert, jedoch wurden hier nur Empfehlungen und keine Festlegungen herausgegeben. Discovery beinhaltet das Entdecken und Listen von Geräten im Netzwerk von anderen Geräten (vgl. proaudio.de, 2014).

Kompatible Formate

Einige Entwickler von Audio over IP-Formaten haben in der AES67 Task Group an der Standardisierung mitgewirkt. Der Verfasser vermutet, dass in der Zukunft kein Audio over IP-Format ohne AES67-Kompatibilität bestehen kann, da die Interoperabilität vor allem im Rundfunkbereich von großer Bedeutung ist. Besonders im Anschluss von Übertragungswagen an die Systeme von verschiedenen Veranstaltungsorten muss

eine Kompatibilität zu den örtlich gegebenen Formaten bestehen. Folgende Formate sind bereits kompatibel zum AES67-Standard:

- RAVENNA (ALC NetworX)
- Livewire (Telos/Axia)
- Q-Lan (QSC)
- AVB

Für folgende Formate ist eine Kompatibilität bereits angekündigt:

- Dante (Audinate)
- WheatNet (Wheatstone)

Ein Format, das bereits als Layer-2-basierte Technologie vorgestellt wurde, ist AVB. Trotz der Tatsache, dass AVB nicht dem Internet Protocol zugrunde liegt, wird es trotzdem in den Standard aufgenommen, da die Sammlung an Protokollen aus standardisierten Protokollen besteht, die eine Interoperabilität mit AES67-kompatiblen Formaten ermöglichen können (vgl. proaudio.de, 2014).

5 Umsetzung des Tutorials

5.1 Form des Tutorials

5.1.1 Anforderungen

Es existieren viele Möglichkeiten, wie ein Tutorial umgesetzt werden kann. Beweggrund für dieses Tutorial sind vor allem viele mögliche aufkommende Fragen zum Thema netzwerkbasierte Audioübertragung. Oftmals kommen aber nur Fragen zu einem bestimmten Thema oder einen bestimmten Begriff auf, da die Hauptzielgruppe bereits im tontechnischen Bereich tätig ist und i.d.R. grundlegende Kenntnisse besitzt. Um die Antwort auf bestimmte Fragen zu verstehen, werden jedoch oftmals Kenntnisse zu anderen sehr speziellen Bereichen vorausgesetzt. Wird in der Erklärung von RAVENNA beispielsweise die Vermittlungsschicht des OSI Referenzmodells erwähnt, wird beim Leser die Kenntnis über dieses Modell vorausgesetzt. Damit ist ein Quereinsteigen nur möglich, wenn Beiträge miteinander vernetzt sind. Somit müssen einzelne Teile des Tutorials so mit anderen verknüpft werden, dass der Anwender durch das Tutorials geleitet wird und Wissenslücken durch die jeweiligen Folgethemen nach und nach geschlossen werden. Wahlweise kann aber auch eine feste Reihenfolge der einzelnen Themengebiete angeboten werden, die in Form eines Kurses durch die Inhalte führt. So hat der Anwender die Möglichkeit, entweder nur einzelne Begriffe im Zusammenhang mit anderen Begriffen oder Themen zu recherchieren, oder in Form eines Online-Kurses Schritt für Schritt den kompletten Inhalt des Tutorials aufzunehmen.

Das Tutorial sollte dem Anwender über das Internet zugänglich gemacht werden, da über das Internet ein schneller Informationsfluss gewährleistet ist. Im Rahmen einer neu aufgesetzten Webplattform des Unternehmens DirectOut GmbH kann das Tutorial den Anwendern zur Verfügung gestellt werden.

Da die DirectOut GmbH ein international agierendes Unternehmen ist, sollte die Option, das Tutorial auch in der englischen Sprache anzuzeigen, bestehen.

Um einen Bezug zu den Produkten des Unternehmens DirectOut GmbH herzustellen, können zukünftig beispielhafte Aufbau-Schemen und Netzwerkstrukturen anhand der Produkte aufgezeigt und erläutert werden. Dies kann jedoch erst bei einem größeren Sortiment an RAVENNA-Produkten umgesetzt werden.

5.1.2 Eine interaktive Webanwendung

Als geeignete Form des Tutorials eignet sich daher eine interaktive Webanwendung. Diese Webanwendung sollte möglichst übersichtlich und die einzelnen Einträge kurz und präzise sein. Vergleichbar mit einem Lexikon werden Begriffe erklärt, Aufbau- und Funktionsbeschreibungen bereitgestellt und mögliche aufkommende Fragen beantwortet. Wichtig ist dabei, dass die einzelnen Beiträge miteinander vernetzt werden. Da beim Lesen eines Beitrages evtl. neue Fragen aufkommen könnten, sollten an dieser Stelle Verweise auf weitere passende Beiträge vorhanden sein. Zugriff auf die Inhalte haben ausschließlich Mitarbeiter des Unternehmens DirectOut GmbH. Anders als bei der Online-Enzyklopädie „Wikipedia“ soll dadurch eine wissenschaftliche Korrektheit der Inhalte sichergestellt werden. Da in dem Themenbereich momentan sehr viele Entwicklungen zu erwarten sind, ist es wichtig, dass die Inhalte des Tutorials stets überprüft und aktualisiert werden. Nur dann können Anwender von dieser Wissensvermittlung profitieren. Für das Web-Tutorial kann außerdem eine App für mobile Endgeräte entwickelt werden. So können Anwender, die gerade im Einsatz sind, schnell nachlesen und erhalten so schnell Antworten auf Fragen. Geeignet wäre dazu eine Suchfunktion, über die schnell gezielte Begriffe aufgerufen werden können.

Folgende Vorteile bestehen in einer interaktiven Webanwendung:

- Der Zugang auf die Inhalte ist zeit- und ortsunabhängig.
- Die Inhalte können leicht aktualisiert werden, was vor allem in Bezug auf die momentane Entwicklung der behandelten Themen wichtig ist.
- Es gibt keine Beschränkung der Nutzerzahl des Tutorials.
- Bei mehrsprachiger Ausführung (z.B. deutsch und englisch) können die Inhalte international verständlich gemacht werden.

5.2 Aufbau des Tutorials

5.2.1 Vernetzte Struktur

Um den Anwender nicht gleich am Anfang mit vielen fremden Begriffen zu überfordern, sollten auf der Startseite nur die wichtigsten Begriffe und ein Suchfeld erscheinen. Das Suchfeld sollte auch von allen anderen Seiten aus zugänglich sein. Beim Aufrufen der einzelnen Begriffe erscheinen die jeweilige Erklärung und weitere Begriffe und mögliche Fragen, die mit diesem Begriff im Zusammenhang stehen. Die Kernbegriffe für

dieses Tutorial sind „Digitalisierung von Audiosignalen“, „MADI“, „RAVENNA“, „Audio over IP“ und „AES67“. Die ersten beiden Themen sollten nur dazu dienen, bereits vorhandenes Wissen aufzufrischen. Deshalb wird keine Verbindung zu anderen Begriffen benötigt. Es sollte dennoch möglich sein, von anderen Beiträgen zu diesen Themen zu gelangen. Von den anderen Themengebieten aus sollten dann Verknüpfungen zu hierarchisch untergeordneten Themen (z.B. RAVENNA -> Entstehung), aber auch diagonale Verknüpfungen (z.B. Audio over IP -> Standardisierung von Audio over IP) bestehen.

5.2.2 Online-Kurs

Für die Informationsvermittlung durch einen Online-Kurs werden dieselben Beiträge wie bei der vernetzten Struktur verwendet. Der Unterschied zur vernetzten Struktur besteht darin, die Navigation durch die einzelnen Themenbereiche in einer festen Reihenfolge abzuarbeiten. Diese Reihenfolge entspricht dem logischen Aufbau aus Punkt 4 dieser Arbeit. Dieser Kurs ist für diejenigen Anwender vorgesehen, welche sich die Materie von Grund auf aneignen möchten.

5.2.3 Häufig gestellte Fragen (FAQ)

Um dem Anwender noch schneller Antworten auf bestimmte Fragen geben zu können, werden naheliegende Fragen zu den Themen formuliert und mit der dazu gehörigen Antwort in das Tutorial eingepflegt. Diese Fragen können in der vernetzten Struktur als einzelne Beiträge eingebunden werden, sodass zu bestimmten Themen dazugehörige mögliche Fragen erscheinen. In der Online-Kurs-Struktur könnten die FAQ gesammelt am Schluss erscheinen. Ein möglicher Fragenkatalog ist in folgender Tabelle aufgeführt.

Frage	Antwort
Was ist das OSI Referenzmodell?	Das OSI Referenzmodell beschreibt sieben Schichten (Layer), die zur Kommunikation innerhalb offener Netzwerke zwischen einem Sender und einem Empfänger notwendig sind. Es wurde 1977 von der International Standards Organisation entwickelt.

Welche Nachteile habe ich beim Einsatz von Layer-1- oder Layer-2-basierten Technologien?	Formate, die auf diesen Schichten kommunizieren, sind i.d.R. proprietär ausgerichtet. Sie nutzen zwar das Kupferkabel als Übertragungsmedium bzw. auch das Ethernet-Protokoll in der Sicherungsschicht, jedoch sind Vermittlungs- und Transport-Technologien herstellergeliefert und nicht zugänglich. Damit kann nur Equipment von einem Hersteller verwendet werden.
Was versteht man unter dem Begriff Audio over IP?	Unter Audio over IP werden alle netzwerk-basierten Audioübertragungsformate beschrieben, deren Kommunikation auf Basis der Vermittlungsschicht (Layer 3) des OSI Referenzmodells stattfindet.
Können für eine RAVENNA-Übertragung herkömmliche IP-Netzwerke verwendet werden?	Ja, solange Netzwerkinfrastruktur QoS unterstützt und über eine ausreichende Bandbreite für die gewünschte Kanalzahl verfügt.
Wie erfolgt die Synchronisation bei RAVENNA?	Alle Geräte im Netzwerk werden von einem Synchronisationsmaster über das Netzwerk synchronisiert. Dieser wird durch eine externe Referenz gesteuert. Über das Protokoll PTP werden aus der absoluten Zeitinformation Media Clocks in den Geräten generiert und IP-Pakete mit einem Zeitstempel versehen.
Können auch Videodaten mit RAVENNA übertragen werden?	Prinzipiell ist diese Funktion vorgesehen, jedoch gibt es derzeit noch keine Produkte am Markt, welche diese Funktion für sich nutzen.
Wie viele Kanäle können maximal mit RAVENNA übertragen werden?	Die Kanalkapazität ist bei RAVENNA generell unbegrenzt. Wie viele Kanäle tatsächlich übertragen werden können, ist von der verwendeten Netzwerkinfra-

	struktur abhängig (z.B. Bandbreite).
Was ist die AES?	Die AES (Audio Engineering Society) ist ein internationaler Verband für Audio-technik.
Sind verschiedene Audio over IP-Formate miteinander kompatibel?	Alle Audio over IP-Formate, die kompatibel zum AES67-Standard sind, sind untereinander kompatibel. Noch sind aber nicht alle dieser Formate AES67-kompatibel.
Ist AES67 ein eigenständiges Format?	Nein. Alle auf dem Markt verfügbaren Technologien bleiben für sich bestehen, auch, wenn sie AES67-kompatibel sind. Der Standard definiert nur eine Schnittmenge an Eigenschaften wie Synchronisation und Transport, um auf dieser Basis eine Interoperabilität zu gewährleisten.

Tabelle 2: Häufig gestellte Fragen (FAQ)

5.2.4 Kontaktformular für weitere Fragen

Um dem Anwender Fragen zu beantworten, die nicht in den FAQ enthalten sind, sollte ein Kontaktformular enthalten sein. Sollte eine Frage sehr häufig gestellt werden, kann diese mit in die FAQ aufgenommen werden. Die Kontaktperson sollte dabei diejenige sein, welche das Tutorial pflegt und aktualisiert. Diese Person sollte gute Kenntnisse über die Inhalte des Tutorials haben und es stets an den aktuellen Entwicklungsstand anpassen.

5.2.5 Weiterführende Inhalte

Eine Vergrößerung des Tutorials durch weitere Themen und Beiträge ist eine mögliche Entwicklung des Projektes. Neben einer stetigen Aktualisierung könnte das Tutorial zukünftig zu einem großen Informationsnetzwerk ausgebaut werden. Die Entwicklung des Tutorials ist jedoch stark von der Entwicklung des Marktes und der Formate abhängig.

Auf die Reaktion des Marktes und der Kunden hin kann das Tutorial beliebig erweitert werden. Auch die Form der Informationsvermittlung kann zukünftig erweitert werden. Beispielsweise könnten Videobeiträge zu verschiedenen Themen erstellt und über das Tutorial veröffentlicht werden. Es könnte auch ein Forum für Anwender erstellt werden, in dem Wissen und Erfahrungen untereinander ausgetauscht werden können.

6 Auswertung

Der Verfasser schätzt das Tutorial als eine gute Möglichkeit ein, potenziellen Anwendern die neuartigen netzwerkbasierenden Technologien zur Echtzeitübertragung von Audiodaten vorzustellen und die Anwender permanent über den neuesten Stand der Entwicklungen zu informieren. Das Tutorial stellt damit eine gute Informationsbasis für Kunden des Unternehmens DirectOut GmbH dar. So können bereits verfügbare und zukünftige Produkte mit RAVENNA-Implementierung in ihrer Funktion und Anwendung besser vom Endkunden verstanden werden. Daraus ergeben sich eventuell neue Möglichkeiten für eine Weiterentwicklung des Tutorials: Bei einem größeren Sortiment an Produkten mit RAVENNA-Implementierung können beispielhafte Aufbau-Schemen mit DirectOut-Produkten zur Verdeutlichung des Textinhaltes dargestellt werden. Das Tutorial könnte auch mit multimedialen Inhalten wie Audio- und / oder Videobeiträgen gefüllt werden. Durch eine Verbreiterung des Themen-Spektrums kann das Tutorial ebenfalls erweitert werden. Dafür ist aber auf die zukünftige Entwicklung des Marktes für Rundfunk- bzw. Audio- und Videotechnik zu achten.

Audio over IP ist aufgrund der Standardisierung durch AES67 und der großen Verfügbarkeit von IP-Netzwerken weltweit als zukunftssicher einzuschätzen. Durch die offene Technologieplattform von RAVENNA und die bereits vielen Partner wird sich dieses Format etablieren. Vor allem im Rundfunkbereich kommen der Vorteil der synchronen Ton- und Bildübertragung zum Tragen. Es ist jedoch zu erwarten, dass eine weltweite Umstellung auf netzwerkbasierende Technologien eher langsam voranschreitet, da MADI noch immer ein sehr zuverlässig funktionierendes Format darstellt. Der Autor vermutet auch, dass bei Umstellungsmaßnahmen sukzessiv vorgegangen wird, sodass vorerst vor allem formatübergreifend gearbeitet wird. An dieser Stelle kann das Tutorial eine beratende Funktion einnehmen. Wenn jedoch Geräte auf den Markt kommen, welche die Möglichkeit der Videoübertragung über IP-Netzwerke, speziell über RAVENNA für sich nutzen, könnten viele Einrichtungen noch schneller Umrüstungsmaßnahmen vornehmen. Mit RAVENNA ist es dann umso einfacher, Bild- und Toninformationen synchron und in Echtzeit zu übertragen. Mit dem Standard ST 2022 der Society of Motion Picture & Television Engineers (SMPTE) wird derzeit an einer Standardisierung der MPEG-2-Streams über IP-Netzwerke gearbeitet (vgl. SMPTE, 2015). Die Netzwerktechnologie wird somit immer wichtiger für den Rundfunkmarkt und Anwender werden sich zukünftig vermehrt Wissen über Netzwerktechnik aneignen müssen. An dieser Stelle kann das Tutorial ebenfalls eine Entwicklung erfahren, in dem grundlegendere Informationen über Netzwerktechnik vermittelt wird. Beispiele wären Funktion verschiedener Netzwerkgeräte oder Protokolle.

Die konkrete technische Umsetzung des Tutorials ist sehr stark vom technischen Aufbau der neuen Webplattform des Unternehmens DirectOut GmbH abhängig, weshalb

darüber bewusst noch keine Überlegungen getroffen wurden. Entsprechende technische Maßnahmen müssten mit einer fachkundigen Person im Bereich Webdesign und -programmierung getätigt werden. Diese Arbeit soll deshalb ausschließlich als Konzept dienen, das den Aufbau und die Anforderungen für die Umsetzung und die dafür notwendigen Inhalte darstellt und wissenschaftlich diskutiert.

Literaturverzeichnis

AES (2015a): „*About the Audio Engineering Society*“. URL: <http://www.aes.org/about/> [Stand 22.01.2015].

AES (2015b): „*About AES Standards*“. URL: <http://www.aes.org/standards/about/> [Stand 22.01.2015].

ALC NetworX (o.J.): „*ALC NetworX*“. URL: <http://www.alcnetworx.de/> [Stand 22.01.2015].

ALC NetworX (2014): *RAVENNA. AES67 now!*. München.

Aviom (2014): „*A-16D Pro A-Net Distributor*“. URL: <http://www.aviom.com/Aviom-Products-5/Network-Devices-29/A-16D-Pro-A-Net-Distributor> [Stand 22.01.2015].

DirectOut GmbH (2014): „*Unternehmen. Informationen - über DirectOut*“. URL: <http://www.directout.eu/de/unternehmen/informationen/uebersicht.html> [Stand 08.01.2015].

DirectOut GmbH (2014): „*Presse. Publikationen - Meldungen, Ankündigungen*“. URL: <http://www.directout.eu/de/presse/publikationen/directout-zeigt-ravenna-madi-bridge.html> [Stand 08.01.2015].

EtherSound (o.J. a): *EtherSound ES-Giga System Transport. Preliminary information*. Broschüre.

EtherSound (o.J. b): *EtherSound ES-100 Audio Transport*. Broschüre.

Görne, Thomas (2011): *Tontechnik*. 3. Auflage, München.

Heinzmann, Stefan / Michl, Ralf / Hildebrand, Andreas (2011): *RAVENNA - Operating Principles*. München.

Henle, Hubert (2001): *Das Tonstudio Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Aufnahmetechnik*. 5., komplett überarbeitete Auflage, München.

Hildebrand, Andreas (2010): *Networked Audio. Aktuelle Entwicklungen & Technologische Perspektiven für den Broadcast-Markt*. Manuskript von der 26. Tonmeistertagung in Leipzig.

Hildebrand, Andreas (2014): *RAVENNA & AES67. White Paper*. München.

Lerch, Alexander / Weinzierl, Stefan (2008): „Digitale Audiotechnik. Grundlagen“. In: Weinzierl, Stefan (Hg.): *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin Heidelberg, 785-811.

Meinel, Christoph / Sack, Harald (2012): *Internetworking. Technische Grundlagen und Anwendungen*. Berlin Heidelberg.

Oliver, Buddy (2012): „*Let There Be Light: How Fiber Optics Actually Works*“. URL: http://www.prosoundweb.com/article/print/let_there_be_light_how_fiber_optics_actually_works [Stand 23.01.2015].

- Riedel (2015a): „*ROCKNET – Digital Audio Network. Über RockNet*“. URL: <http://www.riedel.net/de-de/products/signaltransportprocessing/rocknetdigitalaudionetwork/about.aspx> [Stand 22.01.2015].
- Riedel (2015b): „*MEDIORNET – Real-Time Media Network. MediorNet – Echtzeit-Netzwerk für Video, Audio, Daten & Kommunikation*“. URL: <http://www.riedel.net/de-de/products/signaltransportprocessing/mediornetrealtimemedianetwork/about.aspx> [Stand 22.01.2015].
- RME (o.J.): „*MADI Multinorm*“. URL: http://www.rme-audio.de/en_products_madi_center.php?page=content/products/en_products_madi_glossar [Stand 22.01.2015].
- Romahn, Götz (2014): „Signale“. In: Dickreiter, Michael / Dittel, Volker / Hoeg, Wolfgang / Wöhr, Martin (Hg.): *Handbuch der Tonstudiotechnik*. Band 1. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin/Boston, 659-673.
- The Telios Alliance (2015): „*What is Livewire?*“. URL: <http://www.telosalliance.com/support/What-is-Livewire> [Stand 22.01.2015].
- Video: proaudio.de (2014): *Audio-Netzwerktechnologie*. Sprecher: Hildebrand, Andreas. Veröffentlicht in drei Teilen auf der Website von proaudio.de. URL: <http://www.proaudio.de/de/videos/15118-audio-netzwerktechnologie.html> [Stand 22.01.2015].

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Vorname Nachname